

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-270756

(43) 公開日 平成10年(1998)10月9日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-75090

(22) 出願日 平成9年(1997)3月27日

(71) 出願人 000001889

三洋電機株式会社

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

(72) 発明者 野村 康彦

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三

洋電機株式会社内

(72) 発明者 畑 雅幸

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三

洋電機株式会社内

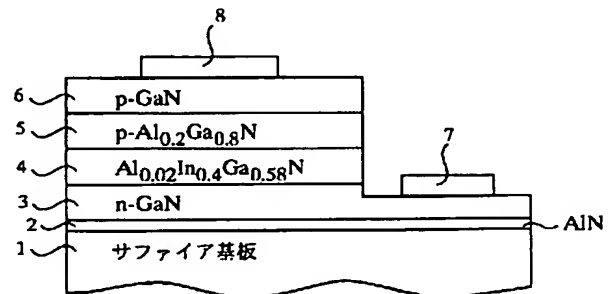
(74) 代理人 弁理士 鳥居 洋

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体装置

(57) 【要約】

【課題】  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  を用いる発光デバイスにおいて、高発光効率で且つ歩留まり良く製造可能な窒化物系化合物半導体装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 この発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置は、n型窒化ガリウム系化合物半導体層3と、p型窒化ガリウム系化合物半導体層5との間に、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  化合物半導体層からなる発光層4を設けたことを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型窒化ガリウム系化合物半導体層と、p型窒化ガリウム系化合物半導体層との間に、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体層を設けたことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項2】 前記 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体層を発光層として用いることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項3】 n型窒化ガリウム系化合物半導体層と、p型窒化ガリウム系化合物半導体層との間に、多重量子井戸を設けた窒化ガリウム系化合物半導体装置であって、前記多重量子井戸は、障壁層として $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体層を用い、井戸層として $In_yGa_{1-y}N$ 化合物半導体層又は障壁層よりバンドギャップの小さい $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体層を用いたことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項4】 多重量子井戸より基板側に、多重量子井戸を構成する井戸層或いは障壁層のいずれか一方材料よりも格子定数の大きい層からなる半導体層を設け、前記井戸層或いは障壁層のいずれか一方に引張歪みを設けたことを特徴とする請求項3に記載の窒化ガリウム系化合物半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、青色発光ダイオード、青色レーザダイオードなどの青色の発光デバイスに用いて好適な窒化物系化合物半導体装置及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】窒化インジウムガリウム( $In_xGa_{1-x}N$ )化合物半導体膜は、そのIn組成(x)を変化させることにより、可視全域の波長の発光を得る材料として注目されており、この材料を用いた青色及び緑色発光ダイオードが実用化されている。

【0003】図6は、上記 $In_xGa_{1-x}N$ 化合物半導体膜を発光層として用いた発光ダイオード(LED)チップの縦断面側面図である。このLEDチップは、サファイア基板31上に膜厚 $2\mu m$ 程度のn型窒化ガリウム( $GaN$ )膜32と、発光層としての膜厚 $2.5nm$ 程度の $In_{0.35}Ga_{0.65}N$ 層33と、p型の第1窒化物系化合物半導体としての膜厚 $0.1\mu m$ 程度のp型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層34と、p型の第2窒化物系化合物半導体としての膜厚 $0.4\mu m$ 程度のp型 $GaN$ 層35とがこの順に積層された構造を有しており、前記n型 $GaN$ 層32におけるメサエッチングされた表面上にn電極36が形成され、p型 $GaN$ 層35上にp電極37が形成されている。

【0004】上記したLEDは、発光層として $In_{0.35}Ga_{0.65}N$ 層を用いることにより、青色発光が得られる。上記のLEDを構成する窒化物系化合物半導体層の

各層の結晶成長には、有機金属気相堆積法(MOCVD法)が広く用いられている。

【0005】また、LED等の発光デバイスにおける発光強度、発光スペクトル半値幅等の特性は発光層の光学特性に強く依存する。

【0006】ところで、MOCVD法により成長させた $In_xGa_{1-x}N$ 層の光学的特性は、例えば、Journal of Electronic Materials, vol. 21, No. 2, 1992の157頁ないし163頁の論文「Wide-Gap Semiconductor InGaN and InGaAlN grown by MOVPE」に記載されているように、成長温度が $500\sim 800^\circ C$ の範囲で高温ほどよい。しかし、上記論文には、成長温度 $500^\circ C$ では、 $In_xGa_{1-x}N$ のIn組成(x)は、原料であるトリメチルインジウム(TMI:  $In(CH_3)_3$ )とトリメチルガリウム(TMg:  $Ga(CH_3)_3$ )の供給比に比例し、xが0~1まで直線的に変化させることが可能であるが、高温の $800^\circ C$ では、前記の比例関係が成立せず、TMIとTMgの供給比によりIn組成(x)を制御することが困難であることが報告されている。

【0007】そこで、Appl. Phys. Lett. 68(22), 27 May 1996の3147頁ないし3149頁の論文「Growth and characterization of bulk InGaN films and quantum wells」に記載されているように、TMIとTMgの供給比を変えずに成長温度を変化させることにより、In組成(x)の制御が行われている。

【0008】一方、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の発光出力を向上させるために、発光層としてx値の異なる $In_xGa_{1-x}N$ (但し、xは $0 < x < 1$ )層を交互に積層したいわゆる多重量子井戸構造を有する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が提案されている(特開平6-268257号公報)。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、MOCVD法では、装置の経時変化の影響により、成長温度が微妙に変化する場合がある。成長温度の変化はIn組成(x)の変化をもたらす、さらには、これを発光層とする発光デバイスの発光波長を変化させることになる。このため、発光デバイスの波長再現性に問題を引き起こすことになる。

【0010】また、成長中の温度を急激に変化させることは困難であるため、In組成を急峻に変化させるには限界がある。このため、発光層として多重量子井戸構造を用いた場合には、多重量子井戸の各層の膜厚及びIn組成を制御することは困難である。このような制御の不安定性は多重量子井戸を発光層とする発光デバイスの特性劣化をもたらすことになる。

【0011】この発明は上述した従来の問題点を解決するためになされたものにして、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ を用いる発光デバイスにおいて、高発光効率で且つ歩留まり良く製造可能な窒化物系化合物半導体装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】この発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置は、 $n$ 型窒化ガリウム系化合物半導体層と、 $p$ 型窒化ガリウム系化合物半導体層との間に、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 化合物半導体層を設けたことを特徴とする。

【0013】前記 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 化合物半導体層を発光層として用いることにより発光デバイスを構成することができる。

【0014】 $\text{In}$ と $\text{N}$ の結合エネルギーは小さく且つ $\text{In}$ の蒸気圧は高い。従って、 $\text{InGaN}$ を高温で成長する場合、 $\text{N}$ 原子が成長表面から容易に脱離し、 $\text{N}$ 原子との結合が断たれた $\text{In}$ 原子の成長表面からの脱離が容易となる。

【0015】一方、 $\text{Al}$ と $\text{N}$ との結合エネルギーは大きいために、 $\text{AlInGaN}$ の成長においては、 $\text{Al}$ の存在によって $\text{N}$ の脱離が抑制され、これに伴って $\text{In}$ 脱離も抑制される。

【0016】この結果、 $\text{InGaN}$ 中の $\text{In}$ 組成の制御性に比して、 $\text{AlInGaN}$ 中の $\text{In}$ 組成の制御性は高まる。従って、高温で制御性の良好な結晶成長が可能となる。この結果、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 化合物半導体層を発光層として用いると、発光デバイスの性能が高まると共に、歩留まりが向上する。

【0017】また、この発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置は、 $n$ 型窒化ガリウム系化合物半導体層と、 $p$ 型窒化ガリウム系化合物半導体層との間に、多重量子井戸を設けた窒化ガリウム系化合物半導体装置であって、前記多重量子井戸は、障壁層として $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 化合物半導体層を用い、井戸層として $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 化合物半導体層又は障壁層よりバンドギャップの小さい $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 化合物半導体層を用いたことを特徴とする。

【0018】また、多重量子井戸より基板側に、多重量子井戸を構成する井戸層、或いは障壁層のいずれか一方より格子定数の大きい層からなる半導体層を設け、前記井戸層或いは障壁層のいずれか一方に引張り歪みを設けたことを特徴とする。

【0019】この発明は、従来の $\text{In}$ 組成の異なる極薄膜からなる多重量子井戸構造(MQW)と異なり、 $\text{InGaN}$ 化合物半導体膜への $\text{Al}$ の添加量の制御、若しくは $\text{Al}$ の添加、無添加によってMQWを製造することができるので、MQWを制御良く形成できる。

【0020】加えて、MQWの井戸層或いは障壁層に引張り歪みを導入する構造、さらには、MQWの井戸層或い

は障壁層には引張り歪みを、障壁層或いは井戸層には圧縮歪みを導入する構造を容易に得ることができるので、発光効率の高い発光デバイスの製造が可能となる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態につき図面を参照して説明する。

【0022】図1は、この発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置の第1の実施の形態を示し、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 化合物半導体膜を発光層として用いた発光ダイオード(LED)チップの縦断面側面図である。

【0023】このLEDチップは、サファイア基板1上に窒化物系化合物半導体としての膜厚5nm程度の $\text{AlN}$ バッファ層2が形成されている。この $\text{AlN}$ バッファ層2上に膜厚0.4 $\mu\text{m}$ 程度の $n$ 型窒化ガリウム( $\text{GaN}$ )膜3と、発光層としての膜厚0.1 $\mu\text{m}$ 程度の $\text{Al}_{0.02}\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.58}\text{N}$ 層4と、 $p$ 型の第1窒化物系化合物半導体としての膜厚0.1 $\mu\text{m}$ 程度の $p$ 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層5と、 $p$ 型の第2窒化物系化合物半導体としての膜厚0.4 $\mu\text{m}$ 程度の $p$ 型 $\text{GaN}$ 層6とがこの順に積層形成されている。そして、前記 $n$ 型 $\text{GaN}$ 層3におけるメサエッチングされた表面上に $n$ 電極7が形成され、 $p$ 型 $\text{GaN}$ 層6上に $p$ 電極8が形成されている。

【0024】前述したように、 $\text{In}$ と $\text{N}$ の結合エネルギーは小さく且つ $\text{In}$ の蒸気圧は高い。従って、 $\text{InGaN}$ を高温で成長する場合、 $\text{N}$ 原子が成長表面から容易に脱離し、 $\text{N}$ 原子との結合が断たれた $\text{In}$ 原子の成長表面からの脱離が容易である。

【0025】一方、 $\text{Al}$ と $\text{N}$ との結合エネルギーは大きいために、 $\text{AlInGaN}$ 膜の成長においては、 $\text{Al}$ の存在によって $\text{N}$ の脱離が抑制され、これに伴って $\text{In}$ 脱離も抑制される。この結果、 $\text{InGaN}$ 中の $\text{In}$ 組成の制御性に比して、 $\text{AlInGaN}$ 膜中の $\text{In}$ 組成の制御性は高まる。従って、高温で制御性の良好な結晶成長が可能となる。

【0026】また、 $\text{Al}$ を $\text{InGaN}$ 膜中にドーピングすることで、結晶性が悪くなる懸念があるが、 $\text{In}$ と $\text{Ga}$ の組成に比べて $\text{Al}$ のドーピング量は極めて少ないので、結晶性への影響はほとんどない。

【0027】上記図1に示すLEDチップの各化合物半導体膜はMOCVD法によりサファイア基板1上に形成される。図2は、上記各化合物半導体膜の成膜に用いられる構型MOCVD装置の一例を示す模式図である。

【0028】この構型MOCVD装置は、2層流構造になっており、2層流ガスが交わる形成室20内のところにサファイア基板1が図示しないサセプタにより傾斜を有して保持される。この形成室20は、図示しない真空ポンプにより所定の真空度に排気される。また、サセプタは高周波コイルなどにより所定の成長温度に加熱されるようになっている。

【0029】そして、形成室20内には、原料ガス供給

ライン21より原料ガスが基板の表面に供給されると共に、その原料ガス供給ライン21より上層に配置された上層流ガスライン22より水素及び／又は窒素ガスが供給される。この上層流ガスライン22は、バルブを介して水素( $H_2$ )ガスボンベ、窒素( $N_2$ )ガスボンベに接続されている。そして、この上層流ガスライン22から供給される水素( $H_2$ )ガス及び／又は窒素( $N_2$ )ガスにより、原料ガスが基板1面に押圧され、原料ガスが基板1に接触される。

【0030】原料ガスとしてのトリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルガリウム(TMg)、トリメチルインジウム(TMI)の有機金属化合物ソースは、微量のバブリングガスにより気化され、図示しないバルブを介して原料ガス供給ライン21に与えられる。また、アンモニア( $NH_3$ )、Siを含むn型ドーパントガス(例えば、 $SiH_4$ )、Mgを含むp型ドーパントガス(例えば、 $Cp_2Mg$ )も図示しないバルブを介して原料ガス供給ライン21に与えられる。

【0031】上記のように構成された横型MOCVD装置を用いて、図1に示すLEDチップを製造する方法について説明する。

【0032】まず、基板1上に低温AlNバッファ層2を形成する。原料ガスとして、TMAと $NH_3$ を形成室20内に供給し、基板温度を500℃に保ち基板1上に膜厚5nmの低温AlNバッファ層2を形成する。

【0033】続いて、原料ガスをTMg、 $NH_3$ 、ドーパントガスを $SiH_4$ に切り替え形成室20内にそれぞれ供給し、基板温度を1000℃に保ちAlNバッファ層2上に膜厚0.4μmのn型窒化ガリウム(GaN)膜3を形成する。

【0034】そして、原料ガスを、TMA、TMI、TMgと $NH_3$ に切り替え形成室20内にそれぞれ供給し、基板温度を800℃に保ち、n型窒化ガリウム(GaN)膜3上に発光層としての膜厚0.1μmの $Al_{0.02}In_{0.4}Ga_{0.58}N$ 層4を形成する。

【0035】次に、原料ガスを、TMA、TMgと $NH_3$ 、ドーパントガスを $Cp_2Mg$ に切り替えて形成室20内にそれぞれ供給し、基板温度を1000℃に保ち、 $Al_{0.02}In_{0.4}Ga_{0.58}N$ 層4上にp型の第1窒化物系化合物半導体としての膜厚0.1μmのp型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層5を形成する。

【0036】そして、原料ガスを、TMgと $NH_3$ 、ドーパントガスを $Cp_2Mg$ に切り替えて形成室20内にそれぞれ供給し、基板温度を1000℃に保ち、p型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層5上にp型の第2窒化物系化合物半導体としての膜厚0.4μmのp型GaN層6を形成する。

【0037】上記のように形成することで、発光層の $Al_{0.02}In_{0.4}Ga_{0.58}N$ 層4を基板温度800℃の高温でIn組成の制御性良く形成できる。従って、光学特

性の良好な発光層を歩留まり良く形成することができ

る。  
【0038】図3は、この発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置の第2の実施の形態を示し、 $In_yGa_{1-y}N$ 化合物半導体膜を井戸層、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体膜を障壁層とした多重量子井戸(MQW)を発光層として用いた発光ダイオード(LED)チップの縦断面側面図である。

【0039】このLEDチップは、サファイア基板1上に窒化物系化合物半導体としての膜厚5nm程度のAlNバッファ層2が形成されている。このAlNバッファ層2上に膜厚0.4μm程度のn型窒化ガリウム(GaN)膜3と、膜厚3nm程度の $Al_{0.05}In_{0.14}Ga_{0.81}N$ の障壁層4aと膜厚2.5nm程度の $In_{0.15}Ga_{0.85}N$ の井戸層4bを交互に積層した多重量子井戸(MQW)からなる発光層4'と、p型の第1窒化物系化合物半導体としての膜厚0.1μm程度のp型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層5と、p型の第2窒化物系化合物半導体としての膜厚0.4μm程度のp型GaN層6とがこの順に積層され形成されている。そして、前記n型GaN層3におけるメサエッチングされた表面上にn電極7が形成され、p型GaN層6上にp電極8が形成されている。

【0040】上記図3に示すLEDチップの各化合物半導体膜は図1に示すLEDチップと同様に図2に示す横型MOCVD装置を用いてサファイア基板1上に形成される。図1に示すLEDチップとは、発光層の構造が相違し、他の各化合物半導体膜は、上記した図1に示すものと同様にして形成されるので、MQWの発光層についてその成膜方法を説明する。

【0041】上記したMQW構造の発光層4'は、基板温度を800℃に保ち、原料ガスTMI、TMgと $NH_3$ の量を一定にして形成室20内にそれぞれ供給する。そして、TMAガスの形成室20内への供給をオン、オフ制御する。このように、TMAガスの形成室20内への供給をオン、オフ制御することで、膜厚3nm程度の $Al_{0.05}In_{0.14}Ga_{0.81}N$ の障壁層4aと膜厚2.5nm程度の $In_{0.15}Ga_{0.85}N$ の井戸層4bを交互に形成することができる。

【0042】この実施の形態によれば、発光層を800℃の高温で成長させることができると共に、MQW構造の発光層を組成と膜厚の制御性が良好に形成できる。そして、~400nmの発光波長の再現性が良く、高発光効率のものが得られる。

【0043】上記した実施の形態においては、MQWからなる発光層4'は、障壁層4aとして $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体層を用い、井戸層4bとして $In_yGa_{1-y}N$ 化合物半導体層を用いたが、障壁層4aとして同じく $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体層を用い、井戸層4bとして障壁層4aよりバンドギャップの

小さい $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体層を用いてもよい。

【0044】図4は、この発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置の第3の実施の形態を示し、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体膜を障壁層、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体膜を井戸層とした多重量子井戸(MQW)を活性層として用いた半導体レーザダイオードチップの縦断面側面図である。

【0045】この半導体レーザチップは、サファイア基板1上に窒化物系化合物半導体としての膜厚5nmの $AlN$ バッファ層2が形成されている。この $AlN$ バッファ層2上に膜厚0.4 $\mu m$ 程度のn型窒化ガリウム(GaN)膜11と、膜厚0.3 $\mu m$ 程度のn型 $Al_{0.25}In_{0.35}Ga_{0.40}$ のクラッド層12と膜厚0.1 $\mu m$ 程度のn型 $Al_{0.22}In_{0.35}Ga_{0.43}N$ の光ガイド層13と膜厚3nmの $Al_{0.20}In_{0.40}Ga_{0.40}N$ の障壁層14aと膜厚2.5nmの $Al_{0.02}In_{0.23}Ga_{0.75}N$ 井戸層14bを交互に積層した多重量子井戸(MQW)からなる光活性層14'と、膜厚0.1 $\mu m$ 程度のp型 $Al_{0.22}In_{0.35}Ga_{0.43}N$ の光ガイド層15と、膜厚0.3 $\mu m$ 程度のp型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ のクラッド層16と、膜厚0.4 $\mu m$ 程度のp型GaNのコンタクト層17とがこの順に積層されて形成されている。そして、前記n型GaN層11におけるメサエッチングされた表面上にn電極18が形成され、p型GaN層のコンタクト層17上にp電極19が形成されている。

【0046】上記図4に示す半導体レーザダイオードの各化合物半導体膜は図1に示すLEDチップと同様に図2に示す横型MOCVD装置を用いてサファイア基板1上に形成することができる。

【0047】上記した化合物半導体層においては、格子定数をInの組成比で制御している。即ち、Inの組成比が多くなると格子定数が大きくなる。

【0048】上記した半導体レーザダイオードによれば、井戸層の格子定数が小さいために、引張歪みが導入され、光学利得を生じるためのキャリア密度が低減できる。

【0049】特に、格子定数が障壁層>クラッド層>井戸層となっているため、障壁層には圧縮歪みが井戸層には引張歪みが生じ、MQWは歪み補償型となり、結晶性が良好になる。この結果、半導体レーザダイオードの閾値電流密度を低減できる。

【0050】図5は、この発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置の第4の実施の形態を示し、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体膜を障壁層、 $In_yGa_{1-y}N$ 化合物半導体膜を井戸層とした多重量子井戸(MQW)を活性層として用いた半導体レーザダイオードチップの縦断面側面図である。

【0051】この半導体レーザチップは、サファイア基板1上に窒化物系化合物半導体としての膜厚5nmの $AlN$ バッファ層2が形成されている。この $AlN$ バッファ層2上に膜厚0.4 $\mu m$ 程度のn型窒化ガリウム(GaN)膜21と、膜厚0.3 $\mu m$ 程度のn型 $Al_{0.25}In_{0.3}Ga_{0.45}$ のクラッド層22と膜厚0.1 $\mu m$ 程度のn型 $Al_{0.22}In_{0.3}Ga_{0.48}N$ の光ガイド層23と膜厚3nmの $Al_{0.1}In_{0.18}Ga_{0.72}N$ の障壁層24aと膜厚2.5nmの $In_{0.35}Ga_{0.65}N$ 井戸層24bを交互に積層した多重量子井戸(MQW)からなる光活性層24と、膜厚0.1 $\mu m$ 程度のp型 $Al_{0.22}In_{0.3}Ga_{0.48}N$ の光ガイド層25と、膜厚0.3 $\mu m$ 程度のp型 $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ のクラッド層26と、膜厚0.4 $\mu m$ 程度のp型GaNのコンタクト層27とがこの順に積層されて形成されている。そして、前記n型GaN層21におけるメサエッチングされた表面上にn電極28が形成され、p型GaN層のコンタクト層27上にp電極29が形成されている。

【0052】上記図5に示す半導体レーザダイオードの各化合物半導体膜は図1に示すLEDチップと同様に図2に示す横型MOCVD装置を用いてサファイア基板1上に形成することができる。

【0053】上記した各化合物半導体層においても、図4の半導体レーザダイオードと同様に、格子定数をInの組成比で制御している。

【0054】上記した半導体レーザダイオードによれば、障壁層の格子定数が小さいために、引張歪みが導入され、光学利得を生じるためのキャリア密度が低減できる。

【0055】特に、格子定数が井戸層>クラッド層>障壁層となっているため、障壁層には引張歪みが井戸層には圧縮歪みが生じ、MQWは歪み補償型となり、結晶性が良好になる。この結果、半導体レーザダイオードの閾値電流密度を低減できる。

【0056】尚、上記した第3及び第4の実施の形態においては歪み補償型のMQW構造を説明したが、少なくとも井戸層又は障壁層に引張歪みを設ければ、光学利得を生じるキャリア密度が低減でき、半導体レーザダイオードとして良好な機能を有する。

【0057】上記した実施の形態においては、発光ダイオード又は半導体レーザダイオードについて説明したが、この発明は、ヘテロ接合界面を有する他のデバイスにも適用できる。例えば、HEMT(高電子移動度トランジスタ)、HBT(ヘテロバイポーラトランジスタ)等の電子デバイスや、光変調素子、光電変換素子に適用することができる。

【0058】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、Alの存在によってNの脱離が抑制され、これに伴ってIn脱離も抑制することができ、 $AlInGa$ N膜中のIn組成の制御性がよくなり、高温でIn組成の制御性の良好な結晶成長が可能となるので、高発光効率で

且つ歩留まりの良好な窒化ガリウム系化合物半導体装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置の第1の実施の形態を示し、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体膜を発光層として用いた発光ダイオード(LED)チップの縦断面側面図である。

【図2】この発明の窒化ガリウム系化合物半導体膜の成膜に用いられる横型MOCVD装置の一例を示す模式図である。

【図3】この発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置の第2の実施の形態を示し、 $In_yGa_{1-y}N$ 化合物半導体膜を井戸層 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体膜を障壁層としたMQWを発光層として用いた発光ダイオード(LED)チップの縦断面側面図である。

【図4】この発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置の第3の実施の形態を示し、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体膜を障壁層、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体膜を井戸層とした多重量子井戸(MQW)を活性層として用いた半導体レーザダイオードチップの縦断面側面図である。

面図である。

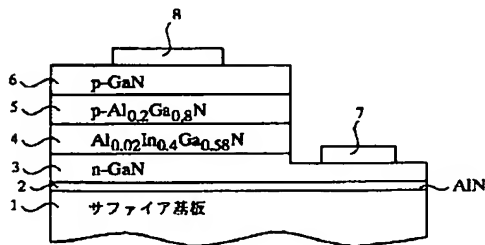
【図5】この発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置の第3の実施の形態を示し、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 化合物半導体膜を障壁層、 $In_yGa_{1-y}N$ 化合物半導体膜を井戸層とした多重量子井戸(MQW)を活性層として用いた半導体レーザダイオードチップの縦断面側面図である。

【図6】従来の $In_xGa_{1-x}N$ 化合物半導体膜を発光層として用いた発光ダイオードチップを示す縦断面側面図である。

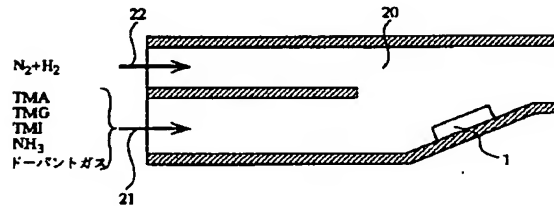
【符号の説明】

- 1 サファイア基板
- 2 AlNバッファ層
- 3 n型Ga<sub>0.8</sub>N層
- 4 発光層( $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ )
- 4a 障壁層( $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ )
- 4b 井戸層( $In_yGa_{1-y}N$ )
- 4' MQW発光層
- 5 p型AlGa<sub>0.8</sub>N層
- 6 p型Ga<sub>0.8</sub>N層

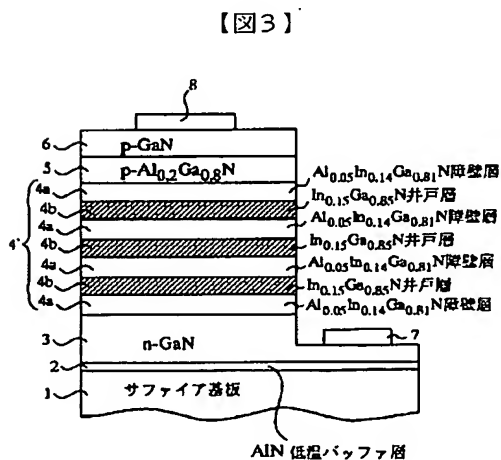
【図1】



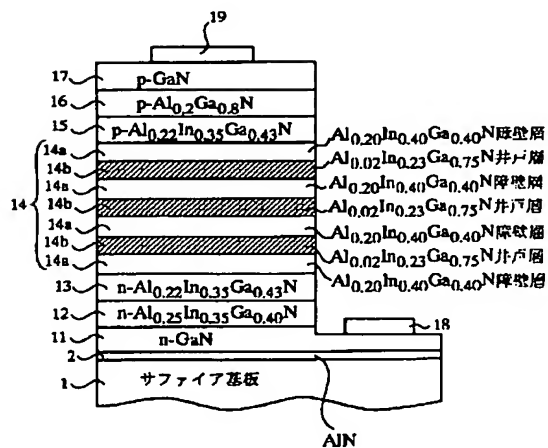
【図2】



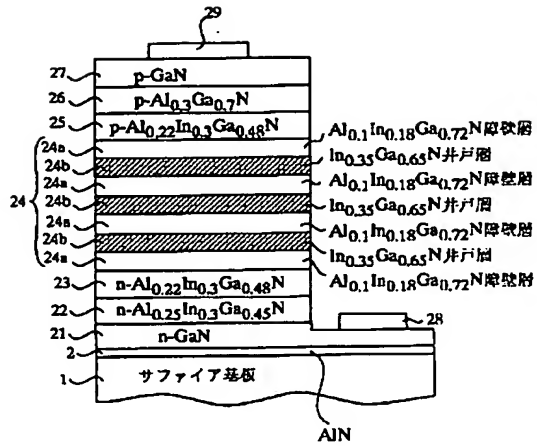
【図4】



【図3】



【図5】



【図6】

